

NOUVELLE METHODE DE MESURE DE LARGEUR DE RAIE D'UN LASER UTILISANT LA RETRODIFFUSION RAYLEIGH DANS UNE FIBRE OPTIQUE

Q. T. Nguyen, P. Besnard, L. Bramerie, O. Vaudel, Y. L  guillon

¹ Laboratoire Foton, CNRS UMR 6082, Enssat, 6 rue de Kerampont, 22305 Lannion, France

quocthai.nguyen@enssat.fr

RESUME

Nous proposons une méthode de mesure de largeur de raie d'un laser basée sur une caractérisation du bruit interférométrique causé par la rétrodiffusion de Rayleigh dans une fibre optique du signal avec lui même. Les résultats expérimentaux sont comparés à ceux obtenus par une mesure classique d'auto-hétérodynage. En comparaison à des méthodes classiques, notre technique de mesure est simple à mettre en œuvre et permet d'analyser, pour une grande gamme de longueurs d'onde, des largeurs de raies allant d'une plusieurs dizaines de kHz à plusieurs centaines de MHz sans avoir à modifier le montage expérimental.

MOTS-CLEFS : largeur de raie ; rétrodiffusion de Rayleigh ; bruit interférométrique ; bruit d'intensité.

1. INTRODUCTION

La cohérence d'un laser est reliée à sa largeur spectrale et est aujourd'hui un paramètre très étudié pour de nombreux domaines d'application utilisant des systèmes optiques cohérents [1]. Plusieurs méthodes ont été proposées pour évaluer la largeur de raie d'un laser. Parmi elles, la technique d'auto-hétérodynage est basée sur le battement entre deux fractions d'un signal laser, l'un retardé à l'aide d'une bobine de fibre optique et l'autre décalé en fréquence à l'aide d'un décaleur acousto-optique. Cette méthode est très répandue pour analyser des largeurs de raie de l'ordre de quelques KHz à quelques dizaines de MHz (ce maximum est fixé par la fréquence de décalage du modulateur acousto-optique) [2]. Pour mesurer des largeurs de raie plus importantes, le plus souvent un analyseur Fabry-Perot est employé [3].

Dans ce papier, nous détaillons une nouvelle méthode de mesure de largeur de raie utilisant le spectre électrique de bruit dû à la rétrodiffusion de Rayleigh dans une fibre optique. Cette méthode présente des avantages par sa large gamme d'analyse de largeur de raie, par sa simplicité en évitant par exemple l'emploi d'un modulateur acousto-optique. Elle utilise un banc de mesure du bruit d'intensité d'un laser (RIN pour Relative Intensity Noise). Dans cette communication, nous présentons tout d'abord le principe de l'expérience, ensuite les résultats expérimentaux obtenus par notre méthode et enfin dressons une comparaison avec des mesures auto-hétérodyne.

2. PRINCIPE DE L'EXPERIENCE

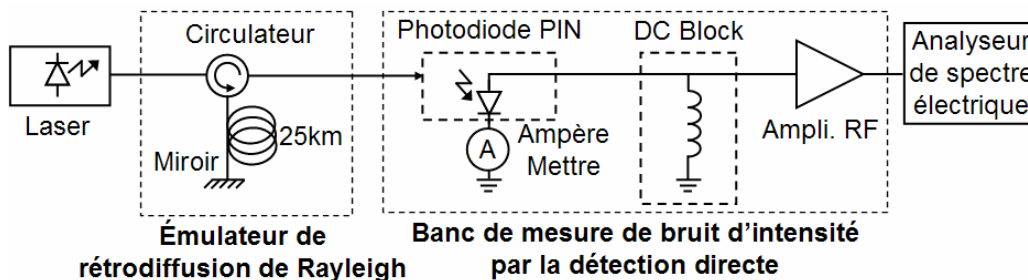


Fig. 1 : Schéma expérimental pour la mesure de bruit de rétrodiffusion de Rayleigh d'un laser

La fig. 1 décrit le montage expérimental utilisé pour cette méthode. Ce montage est composé d'un laser dont on veut mesurer la largeur de raie, d'un émulateur de rétrodiffusion de Rayleigh pour générer le signal rétrodiffusé et d'un banc de mesure de RIN. L'émulateur de rétrodiffusion de Rayleigh est constitué d'un circulateur optique, d'une bobine de fibre optique standard (SMF) de 25 km et d'un miroir fibré. À la sortie de l'émulateur, nous avons deux signaux : le signal optique rétrodiffusé sur 25 km et le signal réfléchi par le miroir, qui génèrent un signal d'interférence à la détection. Les densités spectrales de puissance du signal rétrodiffusé⁽¹⁾ S_b et le signal d'interférence⁽²⁾ S_{r-b} sont données par les formules suivantes [4] :

$$S_b(\omega) \approx \langle I_b \rangle^2 \left(2\pi\delta(\omega) + \frac{2\Delta\omega}{\Delta\omega^2 + \omega^2} \right) \quad (1) \quad S_{r-b}(\omega) \approx 2\pi\delta(\omega) \langle I_r + \langle I_b \rangle \rangle^2 + \frac{2\Delta\omega}{\Delta\omega^2 + \omega^2} \left(2I_r \langle I_b \rangle + \langle I_b \rangle^2 \right) \quad (2)$$

où ω est la pulsation du laser, $\Delta\omega$ est la largeur à mi-hauteur ou largeur de raie, I_b est l'intensité de signal rétrodiffusé, I_r est l'intensité du signal réfléchi. À partir de ces formules, on peut voir que ces densités spectrales sont approximativement identiques au spectre du laser, excepté un facteur homothétique de 2 en fréquence ($2\Delta\omega$). À la détection, le signal rétrodiffusé et le signal d'interférence sont convertis en bruits interférométriques aux basses fréquences, qui sont détectés par la photodiode [5]. La bande passante optique est liée au détecteur, au circulateur et à la fibre.

Le banc de mesure de RIN est constitué d'une photodiode PIN, pour laquelle le bruit de grenaille est connu. Le spectre observé sur l'analyseur de spectre électrique inclut toutes les contributions de bruit : bruit thermique (du système électronique de détection), bruit de grenaille et bruit d'intensité (RIN). Le banc expérimental a été étalonné via une source dont le bruit d'intensité est négligeable. Le RIN à mesurer est alors obtenu par simple soustraction entre les mesures étalon et le bruit total mesuré.

La fig. 2 donne des exemples de mesures de RIN obtenu avec le montage expérimental décrit précédemment. Dans la fig. 2a, nous avons la mesure de RIN correspondant à un laser monomode classique de type DFB à multi-puits quantiques avec (couleur noire) et sans émulateur de rétrodiffusion (couleur grise). Ce laser présente un niveau de bruit d'intensité assez faible, autour de -150 dBc/Hz. Par contre, le bruit dû à la rétrodiffusion de Rayleigh est très important, surtout en basse fréquence (jusqu'à -90 dBc/Hz).

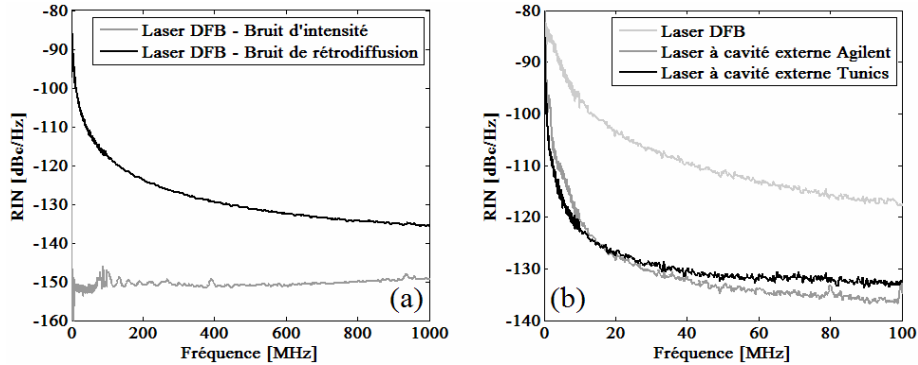


Fig. 2 : Spectres de bruit d'intensité et de rétrodiffusion de Rayleigh d'un laser DFB (a) et comparaison de spectres de bruit de rétrodiffusion de Rayleigh entre différents types de laser (b)

La fig. 2b illustre des mesures utilisant l'émulateur de rétrodiffusion de Rayleigh et pour différents types de laser : un laser DFB à multi-puits quantiques et les deux lasers à cavité externe de faible largeur de raie. Nous remarquons que dans le cas des cavités externes, le RIN obtenu avec la rétrodiffusion de Rayleigh est beaucoup plus faible que le cas du laser DFB. Cette première observation démontre bien que par cette mesure, nous sommes déjà capable de distinguer des lasers fortement cohérent (cavité externe) avec des lasers faiblement cohérent (laser de type DFB).

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSION

La fig. 3 compare la technique de mesure proposée à une mesure auto-hétérodyne pour deux lasers : un laser DFB à multi-puits quantiques de largeur de raie de 2,4 MHz (en haut) et un laser accordable à cavité externe (Tunics™) de largeur de raie environ 120 kHz (en bas). Les spectres de bruit dû à la rétrodiffusion de Rayleigh sont représentés fig. 3a-1 et 3a-2. Comme la densité spectrale du signal détecté est approximativement identique à celle du laser sauf un facteur homothétique de 2 en fréquence, les raies mesurées sont représentées dans les fig. 3b-1 et 3b-2, en restituant la partie de fréquence négative et en divisant l'échelle de fréquence par deux. Ces résultats sont comparés à ceux donnés par la méthode auto-hétérodyne classique à l'aide d'un appareil de mesure disponible commercialement (Advantest Q73321). Nous trouvons que les résultats obtenus par les deux techniques sont parfaitement comparables.

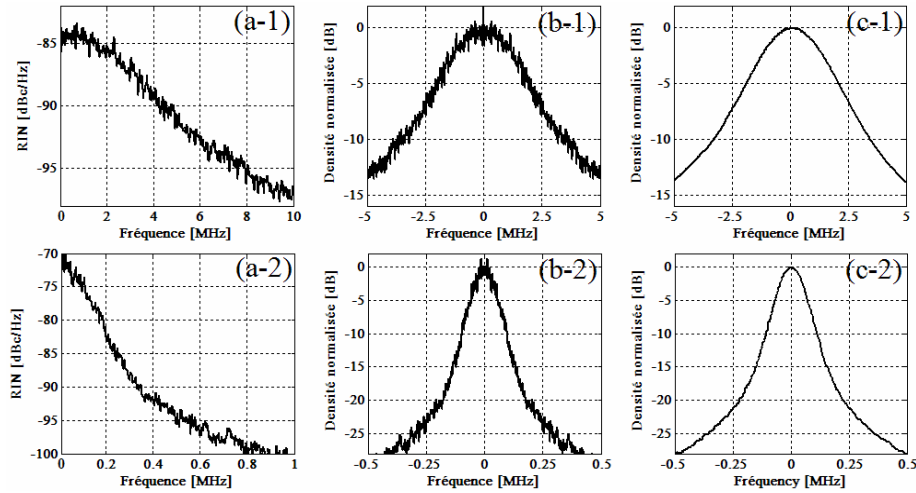


Fig. 3 : Spectres de bruit de rétrodiffusion de Rayleigh (a-1, a-2), largeurs de raie déduites à partir des spectres de bruit (b-1, b-2) et largeurs de raie mesurées par la technique auto-hétérodyne (c-1, c-2)

Avec la méthode proposée, nous pouvons évidemment mesurer des largeurs de raie très importantes, jusqu'à quelques centaines de MHz grâce à la très large bande de détection de notre banc de mesure de RIN ($> 10\text{GHz}$). Pour la mesure de faible largeur de raie, un challenge que nous essayons de lever est de savoir si nous pouvons mesurer des largeurs de raie de l'ordre du kHz, voire inférieur en optimisant le banc de mesure de bruit pour les faibles fréquences, notamment en évitant les bruits parasites basse fréquence lié à l'environnement.

CONCLUSION

Nous avons démontré expérimentalement une méthode simple de mesure de largeur de raie laser en utilisant le spectre de bruit dû à la rétrodiffusion de Rayleigh dans une fibre optique. Les résultats de mesure sont obtenus pour deux types de laser (laser DFB et laser à cavité externe) et sont parfaitement comparables à ceux donnés par une technique auto-hétérodyne classique. Cette nouvelle méthode proposée peut mesurer des largeurs de raie variant de quelques dizaines de kHz à quelques centaines de MHz. Cette large bande de fonctionnement, la simplicité de la méthode comparativement aux techniques classiques, la rentabilité de réutilisation/coopération avec le banc de mesure de bruit du laser, font, selon nous, de cette technique de mesure de largeur de raie, un outil de caractérisation très efficace et de choix pour les laboratoires.

RÉFÉRENCES

- [1] C. Henry, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol.18, no.2, pp. 259-264, 1982
- [2] L. Richter *et al*, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol.22, no.11, pp. 2070-2074, 1986
- [3] G.M. Stephan *et al*, *Physical Review A* v71 043809 2005
- [4] P. Gysel *et al*, *IEEE Journal of Lightwave Technology*, vol.8, no.4, pp.561-567, 1990
- [5] J.L. Gimlett *et al*, *IEEE Journal of Lightwave Technology*, vol.7, no.6, pp.888-895, 1989.